

레이더 성능 안정화를 위한 잡음 AGC

신현익*, 최병관*, 장윤희*, 김정렬*, 김환우**

*국방과학연구소, **충남대학교

e-mail : goradar@paran.com

Noise Automatic Gain Control to Stabilize Radar Performance

Hyun-Ik Shin*, Beyung-Gwan Choi*, Youn-Hhi Jang*,
Jeong-Ryul Kim* and Whan-Woo Kim**

*TRC-2-1, Agency for Defense Development

**Division of ECE, Chungnam National University

Abstract

The dynamic range of the radar which uses digital signal processors is limited by ADC(analog-to-digital converter). This parameter and ADC loss depend on the noise level of radar receivers. In order to stabilize the performance of radar systems, it is necessary to maintain the noise level constantly. This paper presents a noise AGC(automatic gain control) concept that can keep the noise level constantly and proves that the concept is acceptable through evaluation and hardware test.

I. 서론

디지털 신호처리방식을 적용하는 레이더의 동적범위(DR : dynamic range)는 ADC에 의해 제한되며, ADC의 동적범위와 손실은 수신기 잡음이 감소할수록 커지고, 증가할수록 줄어드는 관계를 갖는다. 이러한 특성 때문에 동적범위를 최대로 하기위해 수신기 잡음을 최소로 하면 ADC 손실이 커지게 되어 탐지성능 저하를 초래한다. 결국 레이더의 시스템 성능을 일정하게 유지하기 위해서는 수신기에서 발생하는 잡음크기를 항상 일정하게 유지시켜 주는 기능이 요구된다. 본 논문에서는 이를 구현할 수 잡음 추정관계식을 소개하고, 상용 하드웨어를 이용해 적용 가능성을 확인하였다.

II. 본론

2.1 ADC 손실

ADC 손실 L_{ADC} 는 입력에서의 SNR(signal-to-noise

ratio) 대 출력에서의 SNR 비로 정의됨으로 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$L_{ADC} = 10 \log_{10} \left(\frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \right) [dB] \quad (1)$$

아날로그 신호의 진폭 값은 선형관계로 표현된 가장 가까운 양자화(quantization) 값으로 변환되기 때문에, 이에 따른 잡음(또는 신호왜곡)이 추가로 발생된다. 이러한 문제는 신호가 매우 작은 경우 ADC의 선형성 유지를 어렵게 하며, 이를 최소화하기 위해서는 ADC에 인가되는 잡음 RMS(root mean square)값 σ_{in} 을 양자화 레벨(level) h 보다 크게 유지시켜야 한다[1].

ADC의 양자화 과정에서 추가되는 잡음의 RMS 값을 σ_{ADC} 라 하면 ADC 출력에서의 잡음 분산 σ_{out}^2 는

$$\sigma_{out}^2 = \sigma_{in}^2 + \sigma_{ADC}^2 \quad (2)$$

와 같이 표현되며, 이상적인 ADC의 경우 σ_{ADC}^2 는

$$\sigma_{ADC}^2 = h^2/12 \quad (3)$$

과 같이 표현된다[2]. 따라서 식(1)의 관계로 표현되는 ADC 손실은

$$L_{ADC} = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{\sigma_{ADC}^2}{\sigma_{in}^2} \right) = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{k}{(\sigma_{in}/h)^2} \right) \quad (4)$$

가 된다. 식(4)에서 k 는 식(2)에서 표현된 ADC 양자화 잡음분산 σ_{ADC}^2 을 h^2 으로 정규화한 값으로, 이상적인 ADC의 경우 1/12이 된다.

2.2 동적범위(Dynamic Range)

특정 위치에서의 DR은 선형관계가 유지되는 신호의 최대 RMS 값 A_{rms} 대 잡음 RMS 값 σ 의 비로 정의되며, 양자화 손실이 없는 경우 DR은 다음과 같이 표

현된다. 식에서 r 은 ADC의 비트 수 이다.

$$DR_{ADC} = 20 \log_{10} \left(\frac{2^{r-1} h}{\sqrt{2} \sigma_{in}} \right) \quad (5)$$

식(4)와 (5)로부터 알 수 있듯이 입력 잡음이 클수록 ADC의 양자화 손실이 줄어드는 이점이 있는 반면 DR이 줄어드는 단점이 있으며, 입력 잡음이 적을수록 ADC의 양자화 손실이 커지는 단점이 있는 반면 DR이 증가하는 장점이 있다. 즉, 입력 잡음이 변하는 경우 시스템의 탐지성능이 변하게 됨을 확인할 수 있다.

2.3 잡음 자동이득조정(NAGC)

표 1은 N개의 독립 샘플이 평균잡음 추정에 사용되는 경우, 1) ADC 입력, 2) RMS 값 추정이 이루어지는 DSP(digital signal processor) 입력 및 3) 추정 결과 대한 분포특성과 평균 및 표준편차 관계식을 보여 주고 있으며, G 는 잡음의 진폭이득을 의미한다[3, 4].

표 1. 단계별 잡음 분포특성.

구분	분포	평균	표준편차(α)
ADC 입력	Normal	0	σ_{in}
DSP에서의 잡음진폭	Rayleigh	$\sigma_{in} G \sqrt{\frac{\pi}{2}}$	$\sigma_{in} G \sqrt{\left(2 - \frac{\pi}{2}\right)}$
추정 결과	Normal	$\sigma_{in} G \sqrt{\frac{\pi}{2}}$	$\sigma_{in} G \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\left(2 - \frac{\pi}{2}\right)}$

따라서 추정 값이 평균값에서 얼마나 벗어나 있는지의 여부로 정의되는 추정 오차는 표 1의 마지막 행에서의 표준편차 α 대 평균값의 비로 표현될 수 있다. 추정 값의 분포가 평균값을 중심으로 정규분포 특성을 갖기 때문에 추정결과는 99% 이상의 확률로 $\pm 3\alpha$ 범위내의 값을 가지며, 이 경우 추정오차 ϵ 은

$$\epsilon = 3 \sqrt{\frac{4 - \pi}{\pi N}} \quad (11)$$

이 된다. 즉, $N=1,024$ 인 경우 추정 값은 99% 이상의 확률로 평균값 대비 1.63% 범위 내에 위치함을 알 수 있다.

결국 추정된 잡음 값은 수신기 이득조정 에 필요한 감쇠상수(attenuation factor) ΔK 계산에 적용되며, 입력 잡음크기를 $4.5h$ 로 유지하고자 하는 경우 ΔK 는

$$\Delta K = \frac{\hat{\sigma}_{in}}{4.5hG} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \quad (12)$$

의 관계로 표현될 수 있다.

III. 구현 및 시험결과

NAGC의 잡음 RMS 추정기능을 확인하기 위하여 PPC7410 프로세서 4개를 탑재하고 있는 CHAMP-AV

II 보드와 RAD_2 PMC 모듈을 사용하여 ADC 기능, DDC(digital down converter) 기능 및 연산기능 등이 가능한 레이다 신호처리기를 그림 1과 같이 구성하였다.

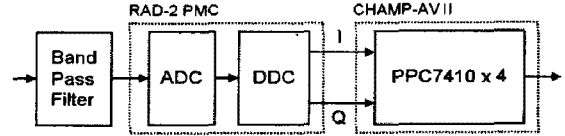


그림 1. NAGC 기능 확인용 레이다 신호처리기 구성.

그림 2는 NAGC 기능 확인을 위해 ADC에 인가되는 잡음크기를 -50.6dBm , -51.6dBm , -52.6dBm , -53.6dBm , -54.6dBm 및 -55.6dBm 으로 설정하고, 각각에 대한 감쇠상수를 계산한 결과로서, 감쇠상수가 입력에서의 잡음변화를 정확히 표현해 주고 있음을 확인할 수 있다.

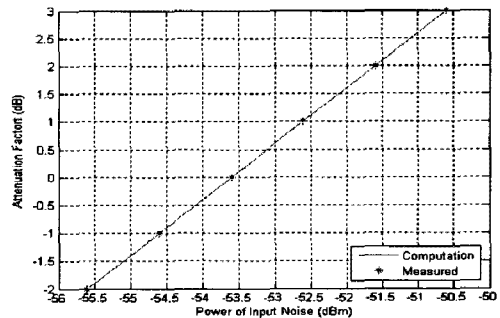


그림 2. 입력잡음 크기에 따른 감쇠상수.

IV. 결론

레이더의 탐지성능을 안정적으로 유지시킬 수 있는 NAGC 개념을 소개하고, 상용보드를 이용한 하드웨어 시험을 통해 설계개념을 검증하였다. 제안된 방식은 입력에서의 잡음변화를 감쇠상수가 정확히 표현해주기 때문에, 수신기 특성에 따른 동적범위 감소 및 ADC 손실 증가를 보상해 줄 수 있다. 따라서 수신기 특성에 의해 나타날 수 있는 레이다 성능변화를 최소화하는데 매우 효과적으로 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] A. V. Oppenheim, *Application of Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1978.
- [2] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, NJ, 1996.
- [3] S. O. Rice, *Mathematical Analysis of Random Noise*, Bell System Technical Journal, vol. 23, pp. 282-332, 1944.
- [4] Albert Leno-Garcia, *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*, Addison Wesley, 1989.